

*Арбузова А.А., кандидат технических наук,
Вотьяков М.А., курсант,
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ АРМИРУЮЩЕГО ПОЛИМЕРА В СТРУКТУРЕ ПОЛИМЕРНО-ВОЛОКНИСТОГО ПРОКЛАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Аннотация: наиболее сложной технологической проблемой производства швейных изделий является создание требуемой сложной геометрической формы и обеспечение ее сохранности в процессе эксплуатации. Перспективным является проведение разработок, направленных на обоснование методов повышения упруго-деформационных свойств пакета швейного изделия посредством формирования в основном материале или дублирующем полотне трехмерных самоорганизующихся структур армированного полимерно-волокнутого композита (ПВК). ПВК образуется при проникновении полимерного связующего, в качестве которого могут использоваться дисперсии полиакрилатные, полиуретановые и др., в межпоровое и нанопоровое пространство волокнутого материала. При этом возможность тонкого регулирования показателей жесткости и упругости обеспечивается научно обоснованным подбором компонентов и применением взаимодополняющих вариантов наноинженерии межфазного слоя. Проведена экспериментальная оценка дисперсионного состояния перспективного ассортимента препаратов, а также влияния степени дисперсности связующего на основные упруго-деформационные свойства образцов ПВК. Установлено, что проникновение армирующего полимерного компонента в субмикроскопические поры текстильного носителя является технологически необходимым условием организации межфазного взаимодействия в структуре композитного материала, обеспечивающего придание прокладочному материалу нужной совокупности функциональных свойств: повышения жесткости с сохранением высокой устойчивости к смятию. Микроуровень размера частиц полимерных дисперсий предопределяет поверхностное распределение армирующего полимера с проникновением в межволоконные пространства, что способствует образованию жесткой, но хрупкой пленки, разрушающейся при наложении тестовой сминающей нагрузки. Эффективным методом предварительного ультрадиспергирования армирующих полимерных дисперсий является применение циклических роторно-пульсационных воздействий с паузами охлаждения обрабатываемой системы до комнатной температуры.

Ключевые слова: армирование, полимер, математический метод, диспергирование, межфазный слой.

Несмотря на трудности, связанные с мировым финансовым кризисом, который затронул все сферы производственной деятельности, наблюдается повышенный интерес к использованию полимерно-волокнутого композиционных материалов. Они востребованы в индустрии моды при изготовлении всех видов одежды (пальто, жакеты, пиджаки, плащи, сорочки и т.д.) в качестве материалов, обеспечивающих закрепление и сохранение приданной формы; в галантерее – обшивка внутренних поверхностей чемоданов, сумок и портмоне, перчаток и т.д.; в мебельной промышленности – обшивка внутренних частей мягкой мебели, прослойка между обивочным материалом и наполнителем для укрепления швов; в обувной промышленности – для изготовления подкладок, стелек и придания формоустойчивости обуви; в производстве головных уборов – для усиления отдельных деталей [1, 2].

В настоящее время швейная промышленность является одной из наиболее перспективных с позиции использования полимерно-волокнутого композиционных материалов. Наиболее сложной технологической проблемой производства швей-

ных изделий является создание требуемой сложной геометрической формы и обеспечение ее сохранности в процессе эксплуатации. Постоянно совершенствуются методы учета формовочных свойств материалов при проектировании швейных изделий [3, 4]. Вместе с тем быстрое обновление основных материалов одежды требует постоянного развития ассортимента вспомогательных, прокладочных материалов и технологий придания заданной жесткости формообразующим деталям одежды, а также кожгалантерейной продукции, мебели, обуви, головных уборов [5]. С учетом современных требований к готовой продукции вспомогательные конструкционные материалы для разнообразных видов функциональных деталей должны обладать жесткостью, регулируемой в широком диапазоне с высокой степенью дискретности, в сочетании с минимальной материалоемкостью и комплексом технологических, эксплуатационных, гигиенических и эргономических показателей. Так, для пиджаков и жакетов требуется устойчивость формы к нагрузке порядка 2 сН, а шаг варьирования жесткости при изменении силуэта должен быть порядка 0,5 сН. В

то же время для деталей низа сумок предельная нагрузка может достигать 80 сН.

Перспективным является проведение разработок, направленных на обоснование и опытно-промышленное освоение методов повышения упруго-деформационных свойств пакета швейного изделия посредством формирования в основном материале или дублирующем полотне трехмерных самоорганизующихся структур армированного полимерно-волокнистого композита (ПВК). ПВК образуется при проникновении полимерного связующего, в качестве которого могут использоваться дисперсии полиакрилатные (ДПА), полиуретановые (ДПУ) и др., в межпоровое и нанопоровое пространство волокнистого материала. При этом возможность тонкого регулирования показателей жесткости и упругости обеспечивается научно обоснованным подбором компонентов [6] и применением взаимодополняющих вариантов нанотехнологии межфазного слоя [7].

Одним из важнейших аспектов регулирования глубины структурных преобразований волокнистого носителя и проникновения модифицирующих полимерных композиций является обоснование требуемой степени дисперсности препаратов армирующего полимера. В связи с этим проведена экспериментальная оценка дисперсионного состо-

яния перспективного ассортимента препаратов ДПА и ДПУ, а также влияния степени дисперсности связующего на основные упруго-деформационные свойства модельных образцов ПВК.

Исследования проведены с использованием препаратов ОАО «Опытный завод акриловых дисперсий» (г. Дзержинск Нижегородской обл.) и ООО «Макромер» (г. Владимир), условно обозначенных ДПА-1, ДПА-2, ДПУ-1 и ДПУ-2, характеризующихся динамической вязкостью при 25°C в диапазоне $\eta = 9,8 \dots 40,9$ мПа·с, приемлемой для нанесения на текстильный носитель методом шаблонной печати. Механоакустическую обработку дисперсий осуществляли на роторно-пульсационной установке РПУ при варьировании скорости вращения ротора $n = 1500 \dots 5000$ об/мин и продолжительности воздействия $\tau = 3 \dots 10$ мин в двух режимах: Ц - циклическое пропускание раствора по замкнутому контуру; П - многократная обработка на проход с промежуточным охлаждением до комнатной температуры. Характеристика некоторых режимов обработки, используемых ниже при сопоставлении результатов воздействия, представлена в табл. 1.

Таблица 1

Режимы обработки полимерных дисперсий

№ п/п	Режим пропускания	n, об/мин	τ , мин	Температура раствора, °С	
				на входе	на выходе
1	Ц	1500	10	25	50±5
2	Ц	3000	5	25	75±5
3	П	2000	5	25	35±2
4	П	5000	3	25	40±2

Для сопоставления препараты подвергали воздействию на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-2Т. Параметры УЗ-обработки: рабочая частота генератора и излучателя 44 кГц, время 5 мин, температура раствора 25°C. Оценка размера частиц, входящих в состав полимерных дисперсий, осуществлена с использованием метода динамического рассеяния света. Замеры проведены на оборудовании Zetasizer Nano S90 с компьютерной программой контроля дисперсионного распределения Malvern Instruments LTD. Препараты ДПА-1 и ДПА-2 подвергались перед замерах разбавлению дистиллированной водой до концентрации 0,05 г/л, препараты ДПУ-1 и ДПУ-2 – до 0,1 г/л. Приготовление аликвот исследуемых образцов осуществляли при термостатировании растворов в течение 5...10 мин при 22±0,2°C и постоянном перемешивании магнитной мешалкой. В качестве базы сравнения использована дистиллированная

вода, характеризующаяся показателем дисперсности 1,33 при 22°C. Для полимерных дисперсий согласно литературным данным приняты следующие параметры: показатель преломления вещества – 1,44; коэффициент абсорбции при 630 нм – 0,10.

В модельных экспериментах по оценке влияния механоактивации полимерных связующих на упруго-деформационные свойства композитов образцы ПВК получены нанесением полимерной дисперсии на хлопчатобумажную ткань бязь арт. 210 методом шаблонной печати с однотипной топологией печатного рисунка. Сушку образцов осуществляли при комнатной температуре; влажно-термическую обработку, имитирующую условия дублирования швейных изделий, проводили при 125°C в течение 30 с. Жесткость ПВК контролировали консольным методом в соответствии с ГОСТ 8977-74 на приборе ПЖУ-12М. Устойчивость образцов действию сми-

нающих нагрузок (несминаемость) определяли в соответствии с ГОСТ 19204-73.

На рис. 1 приведен вид кривых распределения размера частиц r в исходных полимерных компо-

зициях и после механоакустических обработок в наиболее характерных условиях.

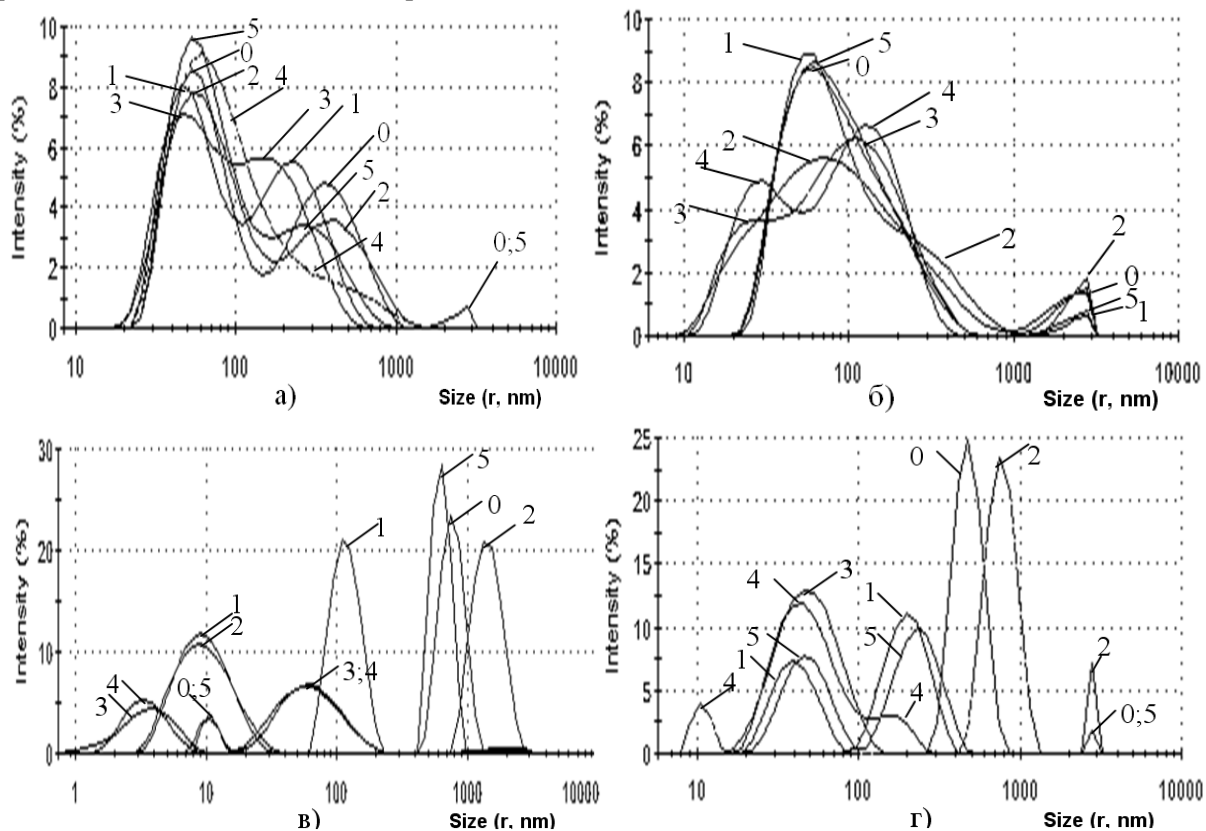


Рис. 1. Кривые дисперсионного распределения полимерных композиций ДПА-1 (а), ДПА-2 (б), ДПУ-1 (в) и ДПУ-2 (г): 0 – исходное состояние; 1-4 – обработка на РПУ (режимы согласно табл. 1); 5 – УЗ-обработка

Полученные результаты свидетельствуют, что все исследуемые препараты в исходном состоянии имеют полифракционный состав, при этом от 40 до 90 % вещества имеет размер частиц более 80 нм, что предопределяет невозможность их проникновения в нанопоровую структуру волокна. При определенных условиях механоакустического воздействия зафиксирован однотипный характер изменения состояния полимерных препаратов, что свидетельствует о принципиальном сходстве процессов, протекающих в разных дисперсных системах. УЗ-обработка, по-видимому, способна нарушить межмолекулярные взаимодействия между полимерами, что отражается в сужении пика дисперсионного распределения систем и смещении его максимума (наиболее существенно в случае препарата ДПУ-2), однако энергии кавитационных воздействий недостаточно для разрыва внутримолекулярных связей в полимерах и

существенного увеличения массовой доли фракции, способной мигрировать в нанопоры текстильного носителя. Обработка на РПУ обеспечивает эффект ультрадиспергирования полимерных композиций, однако режимы с циклическим пропуском раствора могут приводить к иницированию процессов полимеризации в результате нагрева жидкости (см. кр. 2), что может ухудшить их диффузионную подвижность. Наиболее предпочтительные условия ультрадиспергирования обеспечивает обработка на РПУ в режиме 4, обеспечивающем повышение долевого содержания фракций с размером частиц менее 80 нм до 75...100 %.

В табл. 2 представлено влияние условий ультрадиспергирования полимерных дисперсий на показатели упруго-деформационных свойств получаемых с их использованием композитов.

Таблица 2

**Влияние механоактивации полимерных связующих на показатели жесткости (EI)
и коэффициента несминаемости (H) ПВК**

Связующее	Режим (см. табл. 1)	Содержание связующего в ПВК, %	EI , мкН·см ²	H , %
исходная ткань		-	2169	81,1
ДПА-1	0 - без механо- активации	12,6	3525	54,2
		28,2	4231	48,8
	1	14,4	3895	57,1
		26,2	4550	54,3
	2	20,3	6408	49,8
		29,3	7944	40,2
3	18,7	6411	74,1	
	32,2	7290	72,1	
4	11,8	6874	79,3	
	20,3	8577	77,9	
		31,8	14764	75,3
ДПА-2	0	11,6	3054	58,8
		25,6	6578	53,6
	1	13,6	4689	59,9
		28,1	6889	56,4
	2	12,2	7504	45,8
		25,6	9330	40,0
3	5,2	5701	78,5	
	17,7	9424	71,3	
4	13,8	6573	78,4	
	24,9	14883	76,1	
		44,5	21012	72,3
ДПУ-1	0	10,6	4023	59,7
		22,5	5818	54,8
	1	19,1	5612	63,5
		28,3	8839	54,7
	2	13,4	7714	46,2
		24,7	11764	41,1
3	17,4	8287	73,1	
	29,4	13431	66,2	
4	15,3	9740	76,1	
	24,8	16746	72,3	
		34,7	24157	70,7
ДПУ-2	0	16,5	3972	51,9
		26,1	4297	48,8
	1	14,1	5227	61,2
		29,1	6393	56,6
	2	13,3	6202	45,3
		28,7	9183	40,2
3	12,8	6573	71,7	
	26,2	11759	67,8	
4	14,8	8185	77,8	
	25,8	12844	72,8	
		36,1	21603	71,3

Полученные данные показали, что введение в структуру текстильного носителя полимерного связующего в исходном неактивированном состоянии обеспечивает прирост жесткости материала в

1,5...3 раза, что сопровождается снижением его несминаемости в 1,4...1,7 раза. При этом отклонения возрастают с увеличением доли связующего в составе композита. Механоактивация полимерных

дисперсий в режиме 1 малоэффективна, несмотря на наличие позитивных тенденций в обеспечении повышения жесткости композита в сочетании с меньшей потерей устойчивости к действию сминающих нагрузок. Повышение содержания в препаратах крупноразмерных фракций полимеров при обработке в режиме 2 препятствует проникновению связующего в структуру волокон текстильного носителя и способствует поверхностному пленкообразованию, в результате которого жесткость материала при сопоставимом содержании полимерного компонента возрастает в 1,8...2,2 раза в сравнении с результатами применения неактивированных дисперсий, а коэффициент несминаемости дополнительно ухудшается на 8...10 %, что в итоге отражается в снижении устойчивости к смятию до 2 раз относительно исходного уровня текстильной подложки.

Механоакустические воздействия в режимах 3 и 4, обеспечивающие эффект ультрадиспергирования полимерных препаратов, создают благоприятные условия для достижения целевого эффекта - повышения *упругих* свойств ПВК: возрастание показателя жесткости композита в 2 и более раз в сравнении с применением неактивированных дисперсий сопровождается минимальными потерями коэффициента несминаемости – на 2...10 % относительно значения для исходной ткани. Увеличение интенсивности роторно-пульсационной обработки (режим 4) предпочтительно как для сокращения числа проходов обрабатываемой дисперсии

и общей продолжительности операции, так и для обеспечения наилучшего сочетания упруго-деформационных свойств ПВКМ.

Результаты исследования позволяют предполагать, что широкий диапазон регулирования уровня упругости композита можно обеспечить, варьируя нанесение связующего на текстильную подложку в процессе шаблонной печати.

Таким образом, установлено, что проникновение армирующего полимерного компонента в субмикроскопические поры текстильного носителя является технологически необходимым условием организации межфазного взаимодействия в структуре композитного материала, обеспечивающего придание прокладочному материалу нужной совокупности функциональных свойств: повышения жесткости с сохранением высокой устойчивости к смятию. Микроуровень размера частиц полимерных дисперсий предопределяет поверхностное распределение армирующего полимера с проникновением в межволоконные пространства, что способствует образованию жесткой, но, по-видимому, хрупкой пленки, разрушающейся при наложении тестовой сминающей нагрузки. Эффективным методом предварительного ультрадиспергирования армирующих полимерных дисперсий является применение циклических роторно-пульсационных воздействий с паузами охлаждения обрабатываемой системы до комнатной температуры.

Литература

1. Арбузова А.А. Новая технология получения полимерно-армированных композиционных материалов // Сборник научных статей материалы международной научно-практической конференции «Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов». Юго-Западный государственный университет. 2016. С. 140 – 143.
2. Арбузова А.А. Прогнозирование свойств армирующего полимерно-волокнистого композиционного материала для получения формоустойчивого швейного изделия методами компьютерного моделирования // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2015. Т. 1. № 1-1 (1). С. 113 – 117.
3. Горелова А.Е., Корнилова Н.Л., Комарова А.А. Новый способ учета формовочных свойств материалов при определении параметров вытачек на выпуклость груди и лопаток // Швейная промышленность. 2008. № 1. С. 57 – 58.
4. Арбузова А.А. Повышение формоустойчивости полочки мужского пиджака с применением композиционных материалов. Дисс... канд.тех.наук / Иван. гос. текстил. акад. (ИГТА). Иваново, 2010.
5. Комарова А.А., Корнилова Н.Л., Жаров А.И. Модификация ассортимента прокладочных материалов // Швейная промышленность. 2009. № 4. С. 39 – 40.
6. Комарова А.А., Веселов В.В. Использование современных химических препаратов для формоустойчивой обработки швейных изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 1. С. 89 – 91.
7. Кокшаров С.А., Корнилова Н.Л., Арбузова А.А., Караваева М.Б. Разработка полимерно-волокнистых прокладочных материалов для швейных изделий: определение роли дисперсионного состояния армирующего полимера // Механика и технологии. 2012. № 2. С. 86.

References

1. Arbuzova A.A. Novaya tekhnologiya polucheniya polimerno-armirovannykh kompozitsionnykh materialov // Sbornik nauchnykh statej materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Novye resheniya v oblasti uprochnyayushchih tekhnologij: vzglyad molodyh specialistov». YUgo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. 2016. S. 140 – 143.
2. Arbuzova A.A. Prognozirovaniye svoystv armiruyushchego polimerno-voloknistogo kompozitsionnogo materiala dlya polucheniya formoustojchivogo shvejnogo izdeliya metodami komp'yuternogo modelirovaniya // Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX). 2015. T. 1. № 1-1 (1). S. 113 – 117.
3. Gorelova A.E., Kornilova N.L., Komarova A.A. Novyj sposob ucheta formovochnykh svoystv materialov pri opredelenii parametrov vytachek na vypuklost' grudi i lopatok // SHvejnaya pro-myshlennost'. 2008. № 1. S. 57 – 58.
4. Arbuzova A.A. Povysheniye formoustojchivosti polochki muzhskogo pidzhaka s primeneniem kompozitsionnykh materialov. Diss... kand.tekh.nauk / Ivan. gos. tekstil. akad. (IGTA). Ivanovo, 2010.
5. Komarova A.A., Kornilova N.L., ZHarov A.I. Modifikatsiya assortimenta prokladochnykh materialov // SHvejnaya promyshlennost'. 2009. № 4. S. 39 – 40.
6. Komarova A.A., Veselov V.V. Ispol'zovaniye sovremennykh himicheskikh preparatov dlya formoustojchivoj obrabotki shvejnykh izdelij // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2009. № 1. S. 89 – 91.
7. Koksharov S.A., Kornilova N.L., Arbuzova A.A., Karavaeva M.B. Razrabotka polimerno-voloknistykh prokladochnykh materialov dlya shvejnykh izdelij: opredeleniye roli dispersionnogo sostoyaniya armiruyushchego polimera // Mekhanika i tekhnologii. 2012. № 2. S. 86.

*Arbuzova A.A., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),
Votyakov M.A., Military Student,*

*Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil
Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters*

ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF THE STATE OF THE REINFORCING POLYMER IN THE STRUCTURE OF POLYMERIC FIBER MATERIAL USING MATHEMATICAL PREDICTION METHODS

Abstract: the most difficult technological problem in the production of garments is the creation of the required complex geometric shape and ensuring its safety during operation. It is promising to carry out developments aimed at justifying methods for increasing the elastic-deformation properties of a garment package by forming three-dimensional self-organizing structures of a reinforced polymer-fiber composite (PFC) in the main material or a duplicating web. PFC is formed when a polymeric binder penetrates, as which polyacrylate, polyurethane and other dispersions can be used, into the interporous and nanopores space of the fibrous material. At the same time, the possibility of fine adjustment of the stiffness and elasticity parameters is provided by scientifically justified selection of components and application of complementary variants of nanoengineering of the interphase layer. An experimental estimation of the dispersion state of the prospective assortment of preparations as well as the effect of the dispersion degree of the binder on the basic elastic-deformation properties of PFC samples was carried out. It is established that the penetration of the reinforcing polymer component into the submicroscopic pores of the textile carrier is a technologically necessary condition for the organization of interfacial interaction in the structure of the composite material ensuring the provision of the cushioning material with the required set of functional properties: increasing rigidity while maintaining high resistance to crushing. The microlevel of the particle size of polymer dispersions determines the surface distribution of the reinforcing polymer with penetration into the inter-fiber spaces, which contributes to the formation of a rigid but brittle film that breaks down when a test crushing load is applied. An effective method of preliminary ultradispersing of reinforcing polymer dispersions is the use of cyclic rotor-pulsation influences with pauses of cooling the treated system to room temperature.

Keywords: reinforcement, polymer, mathematical method, dispersion, interphase layer.